

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2002202414 A

(43) Date of publication of application: 19.07.02

(51) Int. Cl.

G02B 5/32
B23K 26/06
G02B 19/00
G02B 27/09
G03B 21/00
G03B 21/14
G03F 7/20
G03F 7/22
G03H 1/04
H01L 21/027

(21) Application number: 2001118995

(22) Date of filing: 18.04.01

(30) Priority: 26.10.00 JP 2000326422

(71) Applicant: RICOH CO LTD

(72) Inventor: MIYAGAKI KAZUYA
KAMEYAMA KENJI
KATO IKUO
AISAKA KEISHIN
TAKIGUCHI YASUYUKI

(54) BEAM TRANSDUCER ELEMENT, ILLUMINATION
OPTICAL SYSTEM USING THE BEAM
TRANSDUCER ELEMENT, ALIGNER, LASER
PROCESSING MACHINE AND PROJECTION
DEVICE

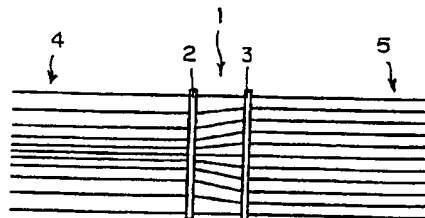
beam 5 with uniform intensity distribution with the
second hologram element 3.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To transduce a beam with intensity distribution of Gaussian distribution into a uniform and parallel beam by using a hologram element and not using a lens with a special shape of a cross section.

SOLUTION: A beam transducer element 1 consists of a first hologram element 2 and a second hologram element 3 placed in parallel with each other. The first hologram element 2 is provided with a function of a concave lens and its focal length gets shorter being the nearer its center and the second hologram element 3 is provided with a function of a convex lens and its focal length gets shorter being the nearer its center. A light ray with significant intensity in the vicinity of a central part of a laser beam 4 is widely diverged by the first hologram element 2 and an angle of divergence caused by the first hologram element 2 gets smaller being the nearer its peripheral part. These light rays become a



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-202414

(P2002-202414A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002.7.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-リ-ト* (参考)
G 0 2 B 5/32		G 0 2 B 5/32	2 H 0 4 9
B 2 3 K 26/06		B 2 3 K 26/06	E 2 H 0 5 2
G 0 2 B 19/00		G 0 2 B 19/00	2 H 0 9 7
27/09		G 0 3 B 21/00	E 2 K 0 0 8
G 0 3 B 21/00		21/14	Z 4 E 0 6 8
審査請求 未請求 請求項の数20 O L (全 19 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2001-118995(P2001-118995)

(22) 出願日 平成13年4月18日 (2001.4.18)

(31) 優先権主張番号 特願2000-326422(P2000-326422)

(32) 優先日 平成12年10月26日 (2000.10.26)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000006747

株式会社リコー

東京都大田区中馬込1丁目3番6号

(72) 発明者 宮垣 一也

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(72) 発明者 亀山 健司

東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

(74) 代理人 100079843

弁理士 高野 明近 (外2名)

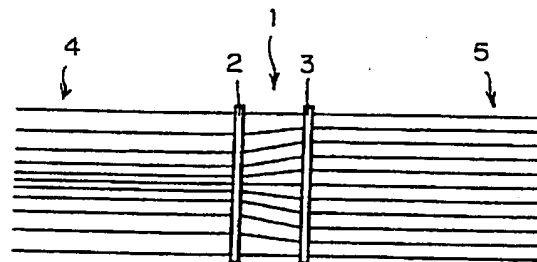
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ビーム変換素子、該ビーム変換素子を用いた照明光学系、露光装置、レーザ加工機及び投射装置

(57) 【要約】

【課題】 特殊な断面形状のレンズを用いず、ホログラム素子を用いて、強度分布がガウシアン分布を有するビームを均一な平行ビームに変換する。

【解決手段】 ビーム変換素子1は、互いに平行配置された第1のホログラム素子2と第2のホログラム素子3からなる。第1のホログラム素子2は、凹レンズの機能を有し、中心に近づくほど焦点距離の長さが小さく、第2のホログラム素子3は凸レンズの機能を有し、中心に近づくほど焦点距離が小さい。第1のホログラム素子2によってレーザ光4の中心部付近の強度の強い光線は大きく発散され、周辺部にいくにしたがって第1のホログラム素子2による発散角は小さくなる。これらの光線は、第2のホログラム素子3によって均一な強度分布のビーム5となる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 平行配置された第 1 ホログラム素子と第 2 ホログラム素子からなり、前記第 1 ホログラム素子は凹レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が大きく、前記第 2 ホログラム素子は凸レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が小さいことを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 2】 前記第 1 ホログラム素子と前記第 2 ホログラム素子は、斜入射系となるように配置されていることを特徴とする請求項 1 記載のビーム変換素子。

【請求項 3】 前記第 1 ホログラム素子と前記第 2 ホログラム素子のホログラムパターンは、それぞれアレイ状に形成されていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のビーム変換素子。

【請求項 4】 請求項 2 記載のビーム変換素子が複数個アレイ状に配列されていることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 5】 レーザ光源と、コリメートレンズと、請求項 1 乃至 4 いずれか記載のビーム変換素子と、レンズアレイからなることを特徴とする照明光学系。

【請求項 6】 前記コリメートレンズは、コリメート機能を有するホログラム素子からなることを特徴とする請求項 5 記載の照明光学系。

【請求項 7】 前記レンズアレイは、レンズアレイ機能を有するホログラム素子からなることを特徴とする請求項 5 または 6 記載の照明光学系。

【請求項 8】 レーザアレイ光源と、ビーム変換素子部と、ホモジナイザからなる照明光学系において、前期レーザアレイ光源は発光部がライン状に配列され、前記ビーム変換素子部は前記レーザアレイ光源のアレイ厚さ方向のみにレンズ機能を有し、第 1 ホログラム素子と第 2 ホログラム素子で形成され、前記第 1 ホログラム素子は凹レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が大きく、前記第 2 ホログラム素子は凸レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が小さいことを特徴とする照明光学系。

【請求項 9】 請求項 5 乃至 8 いずれか記載の照明光学系と、ライトバルブと、投射レンズからなることを特徴とする投射装置。

【請求項 10】 ホログラム素子からなるビーム変換素子であって、前記ホログラム素子の入射面または入射光軸と回折光軸を含む面での格子ピッチ P は、前記ホログラム素子に入射される入射ビームの中心からの距離を x とすると

$$P = A + Bx + C \sin(Dx)$$

ただし、 A 、 C 、 D は 0 以外の定数、 B は 0 を含む定数で表される変調ピッチであることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 11】 第 1 のホログラム素子と第 2 のホログラム素子で構成されるビーム変換素子であって、前記第

1 のホログラム素子の格子ピッチ P は請求項 10 に記載された変調ピッチ P が形成され、前記第 2 のホログラム素子の格子ピッチは前記第 2 のホログラム素子からの回折角が一定になるように格子ピッチが設定されることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 12】 請求項 11 記載のビーム変換素子において、前記第 2 のホログラム素子の回折光の光軸が前記第 1 のホログラム素子への入射光軸と平行であることを特徴とするビーム変換素子。

10 【請求項 13】 請求項 10 記載のビーム変換素子において、前記入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記入射ビームの前記ホログラム素子への入射角を θ 、前記ホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、前記ホログラム素子から被照射部までの入射光軸に沿った距離 L は、

$$L \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 14】 請求項 12 記載のビーム変換素子において、入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記入射ビームの前記第 1 のホログラム素子への入射角を θ 、前記ホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、前記第 1 のホログラム素子から前記第 2 のホログラム素子の入射光軸に沿った距離 L_1 と、前記第 2 のホログラム素子から前記被照射部までの入射光軸に沿った距離 L_2 は、

$$L_1 \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

$$L_2 \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 15】 請求項 10 乃至請求項 14 いずれか記載のビーム変換素子において、前記ホログラム素子の格子パターンがホログラム基板上に所定の繰り返し周期で形成されたことを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 16】 請求項 10 乃至請求項 14 いずれか記載のビーム変換素子において、前記ホログラム素子がアレイ状に配列されたことを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 17】 請求項 11 または請求項 12 記載のビーム変換素子において、前記第 1 及び第 2 のホログラム素子がアレイ状に配列されるか、またはホログラム基板に格子パターンがアレイ状に形成されており、隣接する出射ビームの間に遮蔽板が配置され、前記第 2 のホログラム素子から被照射部までの入射光軸に沿った距離 L は、前記入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記第 1 のホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、

$$L \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とするビーム変換素子。

【請求項 18】 少なくともレーザ光源と、請求項 10 乃至請求項 17 いずれか記載のビーム変換素子と、投影レンズからなることを特徴とする露光装置。

【請求項 19】 少なくともレーザ光源と、請求項 10 乃至請求項 17 いずれか記載のビーム変換素子と、集光

レンズからなることを特徴とするレーザ加工機。

【請求項20】 少なくともレーザ光源と、請求項10乃至請求項17いずれか記載のビーム変換素子と、空間変調ライトバルブと、投射レンズからなることを特徴とする投射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ビーム変換素子及びこれを用いた照明光学系、露光装置、レーザ加工機及び投射装置に関し、さらに詳しくは、レーザ光のビーム強度分布を平坦化させるビーム変換素子及びレーザ光を光源とし被照射部を均一に照明する照明光学系、露光装置、レーザ加工機、レーザ光を光源とする照明光学系を用いた投射装置に関し、プロジェクタ、レーザ加工、ステッパ等多くの技術分野への応用に適したものである。

【0002】

【従来の技術】1998年9月28日付け日経産業新聞に、ビーム強度分布を変換することができる特殊レンズに関する記事が記載されている。図30は、同記事に記載されている図で、図30に示された特殊レンズは、レンズの中央部が凹レンズ効果を有し、周辺部が凸レンズ効果を有するような特殊な断面形状を有し、強度分布に疎密があるビームを強度分布が均一なビームに変換することができる。しかし、強度分布に疎密があるビームを均一な強度分布の平行光線束に変換するのを、レンズで実施するにはレンズ形状の設計が困難であり、また特殊な断面形状の金型を作製する必要があるため高コストとなる。

【0003】また、特開平8-94839号公報には、第1のホログラムと第2のホログラムからなる光ビーム変換素子が記載されている。しかし、この光ビーム変換素子によれば、第1のホログラムの各ファセットからの光が第2のホログラムの全面に照射されるため、第2のホログラムで全ての光線を平行化させることは不可能である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、従来の技術に鑑みてなされたもので、強度分布に疎密がある光源からのビームを被照射部で均一な強度分布に、または、均一な強度分布の平行光線束に変換する変換素子に特殊な断面形状のレンズを用いることなしに、ホログラム素子を用いて強度分布に疎密がある光源からのビームを被照射部で均一な強度分布に、または、均一な強度分布のビームに変換することができる光学変換素子、照明光学系及び投射装置を低コストで提供することを目的とする。また、各請求項の発明は次のような事項を目的とする。

【0005】(1) 強度分布がガウシアン分布を有するビームを強度分布が均一なビームに変換することを目的とする(請求項1)。

【0006】(2) 強度分布がガウシアン分布を有する

ビームを強度分布が均一なビームに変換することができ、ホログラム素子の作製に二光束干渉露光法を使用することができるようにすることを目的とする(請求項2)。

【0007】(3) レーザアレイ光源の各ガウシアン分布を有するビームを強度分布が均一なビームに変換することを目的とする(請求項3)。

【0008】(4) レーザアレイ光源の各ガウシアン分布を有するビームを強度分布が均一なビームに変換し、かつ小型な照明光学系にも使用可能であることを目的とする(請求項4)。

【0009】(5) レーザ光源のビームを被照射部に強度分布が均一となるように照明することを目的とする(請求項5)。

【0010】(6) レーザ光源のビームを被照射部に強度分布が均一となるように照明し、かつ照明光学系の小型化を可能とすることを目的とする(請求項6, 7)。

【0011】(7) 発光部がライン状に配列されたレーザアレイ光源のビームを被照射部に強度分布が均一となるように照明する照明光学系において、レーザアレイ光源のアレイ数が多くなっても照明光学系の設計が容易であることを目的とする(請求項8)。

【0012】(8) レーザ光源またはレーザアレイ光源を用いた投射装置を小型化し、高性能化することを目的とする(請求項9)。

【0013】(9) 回折格子を用いてガウシアンビームを均一強度に変換するデバイスで、回折格子の設計を容易にすることを目的とする(請求項10)。

【0014】(10) 回折格子を用いてガウシアンビームを均一強度に変換するデバイスで、回折格子の設計が容易であり、かつ、均一強度化された出射ビームがコリメートされることを目的とする(請求項11)。

【0015】(11) 回折格子を用いてガウシアンビームを均一強度に変換するデバイスで回折格子の設計を容易にし、均一強度化された出射ビームがコリメートされていて、かつ入射光と平行になることを目的とする(請求項12)。

【0016】(12) 回折格子を用いてガウシアンビームを均一強度に変換するデバイスで回折格子の設計を容易にし、かつ不要光を被照射部から外すことで、ガウシアンビームをさらに均一強度に変換することを目的とする(請求項13)。

【0017】(13) レーザアレイ光のそれぞれのガウシアンビームを均一強度のビームに変換することを目的とする(請求項14)。

【0018】(14) レーザアレイ光のそれぞれのガウシアンビームを均一強度のビームに変換し、かつビーム変換デバイスの小型化を目的とする(請求項15)。

【0019】(15) ホログラム設計の容易なビーム変換デバイスで、不要光を被照射部から外すことで、ガウ

シアンビームを均一強度に変換することができ、被照射部までの距離を短くすることを目的とする（請求項 16）。

【0020】（16）低コストのビーム変換デバイスを用いた露光装置を提供することを目的とする（請求項 17）。

【0021】（17）低コストのビーム変換デバイスを用いたレーザ加工機を提供することを目的とする（請求項 18）。

【0022】（18）低コストのビーム変換デバイスを用いたレーザ光源を有する小型の投射装置を提供することを目的とする（請求項 19）。

【0023】（19）放射照度均一性を高くした小型のビーム変換デバイスを用いた投射装置を提供することを目的とする（請求項 20）。

【0024】

【課題を解決するための手段】本発明は、前記目的を達成するためになされたものであって、その第 1 の技術手段は、平行配置された第 1 ホログラム素子と第 2 ホログラム素子からなり、前記第 1 ホログラム素子は凹レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が大きく、前記第 2 ホログラム素子は凸レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が小さいビーム変換素子であることを特徴とする。

【0025】第 2 の技術手段は、第 1 の技術手段のビーム変換素子において、前記第 1 ホログラム素子と前記第 2 ホログラム素子は、斜入射系となるように配置されていることを特徴とする。

【0026】第 3 の技術手段は、第 1 または第 2 の技術手段のビーム変換素子において、前記第 1 ホログラム素子と前記第 2 ホログラム素子のホログラムパターンは、それぞれアレイ状に形成されていることを特徴とする。

【0027】第 4 の技術手段は、第 2 の技術手段のビーム変換素子が複数個アレイ状に配列されているビーム変換素子であることを特徴とする。

【0028】第 5 の技術手段は、レーザ光源と、コリメートレンズと、第 1～4 の技術手段のビーム変換素子と、レンズアレイからなる照明光学系であることを特徴とする。

【0029】第 6 の技術手段は、第 5 の技術手段の照明光学系において、前記コリメートレンズ部は、コリメート機能を有するホログラム素子からなることを特徴とする。

【0030】第 7 の技術手段は、第 5 または第 6 の技術手段の照明光学系において、前記レンズアレイは、レンズアレイ機能を有するホログラム素子からなることを特徴とする。

【0031】第 8 の技術手段は、レーザアレイ光源と、ビーム変換素子部と、ホモジナイザからなる照明光学系において、前期レーザアレイ光源は発光部がライン状に

配列され、前記ビーム変換素子部は前記レーザアレイ光源のアレイ厚さ方向のみにレンズ機能を有し、第 1 ホログラム素子と第 2 ホログラム素子で形成され、前記第 1 ホログラム素子は凹レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が大きく、前記第 2 ホログラム素子は凸レンズ機能を有しホログラムの中心に向かうほど焦点距離が小さい照明光学系であることを特徴とする。

【0032】第 9 の技術手段は、第 5～8 の照明光学系と、ライトバルブと、投射レンズからなる投射装置であることを特徴とする。

【0033】第 10 の技術手段は、ホログラム素子からなるビーム変換素子であって、前記ホログラム素子の入射面または入射光軸と回折光軸を含む面での格子ピッチ P は、前記ホログラム素子に入射される入射ビームの中心からの距離を x とすると

$$P = A + Bx + C \sin(Dx)$$

ただし、 A 、 C 、 D は 0 以外の定数、 B は 0 を含む定数で表される変調ピッチであることを特徴とする。

【0034】第 11 の技術手段は、第 1 のホログラム素子と第 2 のホログラム素子で構成されるビーム変換素子であって、前記第 1 のホログラム素子の格子ピッチ P は請求項 10 に記載された変調ピッチ P が形成され、前記第 2 のホログラム素子の格子ピッチは前記第 2 のホログラム素子からの回折角が一定になるように格子ピッチが設定されることを特徴とする。

【0035】第 12 の技術手段は、第 11 の技術手段のビーム変換素子において、前記第 2 のホログラム素子の回折光の光軸が前記第 1 のホログラム素子への入射光軸と平行であることを特徴とする。

【0036】第 13 の技術手段は、第 10 の技術手段のビーム変換素子において、前記入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記入射ビームの前記ホログラム素子への入射角を θ 、前記ホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、前記ホログラム素子から被照射部までの入射光軸に沿った距離 L は、

$$L \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とする。

【0037】第 14 の技術手段は、第 12 の技術手段のビーム変換素子において、入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記入射ビームの前記第 1 のホログラム素子への入射角を θ 、前記ホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、前記第 1 のホログラム素子から前記第 2 のホログラム素子の入射光軸に沿った距離 L_1 と、前記第 2 のホログラム素子から前記被照射部までの入射光軸に沿った距離 L_2 は、

$$L_1 \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

$$L_2 \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とする。

【0038】第 15 の技術手段は、第 10～14 の技術手段のビーム変換素子において、前記ホログラム素子の

格子パターンがホログラム基板上に所定の繰り返し周期で形成されたことを特徴とする。

【0039】第16の技術手段は、第10～14の技術手段のビーム変換素子において、前記ホログラム素子がアレイ状に配列されたことを特徴とする。

【0040】第17の技術手段は、第11または12の技術手段のビーム変換素子において、前記第1及び第2のホログラム素子がアレイ状に配列されるか、またはホログラム基板に格子パターンがアレイ状に形成されており、隣接する出射ビームの間に遮蔽板が配置され、前記第2のホログラム素子から被照射部までの入射光軸に沿った距離 L は、前記入射ビームの直径もしくは幅を W とし、前記第1のホログラム素子の平均的な回折角を ϕ とすると、

$$L \geq W / \tan(\theta + \phi)$$

で表されることを特徴とする。

【0041】第18の技術手段は、少なくともレーザ光源と、第10～17の技術手段のビーム変換素子と、投影レンズからなる露光装置であることを特徴とする。

【0042】第19の技術手段は、少なくともレーザ光源と、第10～17の技術手段のビーム変換素子と、集光レンズからなるレーザ加工機であることを特徴とする。

【0043】第20の技術手段は、少なくともレーザ光源と、第10～17の技術手段のビーム変換素子と、空間変調ライトバルブと、投射レンズからなる投射装置であることを特徴とする。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図1～29に示す実施例1～22に基づいて説明する。

(実施例1) 図1は、実施例1のビーム変換素子を示す図である。実施例1のビーム変換素子1は、第1のホログラム素子2と第2のホログラム素子3から構成され、両者は互いに平行に配置される。第1のホログラム素子2は、凹レンズの機能を有するが、中心に近づくほど焦点距離が大きく（凹レンズの焦点距離は負の値なので、焦点距離が大きということは焦点距離の長さが小さいことになる）、レンズの周辺に近づくほど焦点距離が小さくなるように設計されている。第1のホログラム2は、例えば計算機ホログラムの作製方法で作製可能である。第2のホログラム素子3は凸レンズの機能を有するが、中心に近づくほど焦点距離が小さく、周辺に近づくほど焦点距離が大きくなるように設計されている。第2のホログラム素子3も計算機ホログラムによって作製可能である。

【0045】図1に示すビーム変換素子1は、向かって左側からレーザ光4が第1のホログラム素子2に入射する。通常、レーザ光のビームプロファイルはガウシアン分布（Gaussian Distribution）で、ビームの中心が強度が高く、ビームの周辺に近づくにしたがって指数関数

的に光強度が減少する。図1に示すレーザ光4もガウシアン分布であり、図1では光強度の強い領域ほど線と線の間隔を狭く描いている。第1のホログラム素子2によってレーザ光4の中心部付近の強度の強い光線は焦点距離が大きい（焦点距離の長さが小さい）レンズ作用を受けて大きく発散される。レーザ光4の周辺部にいくにしたがって第1のホログラム素子2による発散角は小さくなる。これらの光線は、第2のホログラム素子3によって平行光束となる。そして、第1のホログラム素子2から第2のホログラム素子3に向かう光は重なり合うことなく第2のホログラム素子3に入射させるため、第2のホログラム素子3から透過される光を平行化させることが設計上可能になる。したがって、第1、第2のホログラム素子2、3によって、ガウシアンビームをコリメート光で、かつ放射照度を均一化したビーム5に変換することができる。

【0046】（実施例2）図2は、実施例2のビーム変換素子を示す図である。実施例2のビーム変換素子6は、平行配置された第1のホログラム素子7と第2のホログラム素子8で構成される。第1のホログラム素子7は、凹レンズ機能と偏向機能を有する。第1のホログラム素子7の中心部付近は焦点距離が大きく（焦点距離の長さが小さく）、かつ光軸が所定方向に偏向される。第1のホログラム素子7の周辺に近づくほど、その凹レンズ機能の焦点距離が小さく（焦点距離の長さが大きく）なるように設計される。一方、第2のホログラム素子8は、凸レンズ機能と偏向機能を有する。第2のホログラム素子8の中央に近づくほど凸レンズの焦点距離が小さく、周辺に向かうにしたがって焦点距離が大きくなるように設計されている。

【0047】第1のホログラム素子7に入射するレーザ光9はその強度分布がガウシアン分布であり、中央部付近の強度が高く、ビームの周辺に向かうにしたがって指数関数的に光強度が減少する。図2では強度の強い領域ほど線と線の間隔を狭くして表している。ガウシアン分布のレーザ光9の中央付近は、第1のホログラム素子7の中央部付近の偏向機能と凹レンズ機能によって進行方向が変わり、かつ発散される。ガウシアン分布のレーザ光9の周辺ほど発散の度合いが小さくなっている。これらのビームが第2のホログラム素子8に入射されると、凸レンズ機能と偏向機能によって図2に示すように平行光束化し、かつ強度分布が均一なレーザ光10に変換される。

【0048】実施例2のような斜入射系のホログラムを用いることによって、図12に示すような二光束干渉露光法でホログラムを作製することができる。垂直入射ホログラムを用いることによっても、二光束干渉露光法は可能であるが、効率の良いホログラムの作製は困難である。斜入射系のホログラムでは図12のようにホログラム記録材料の基板74の片側から二つの光束を重ねるこ

とができる。ところが、二光束干渉で垂直入射タイプのホログラムを作製するには基板 7 4 の両側から光束を照射するため、基板 7 4 の裏面による多重反射によってホログラムの効率や特性が低下する。したがって、本構成の場合、2 つのホログラム素子からなるビーム変換素子の作製自由度が高くなることになる。

【0049】(実施例 3) 図 3 は、実施例 3 のビーム変換素子を示す図である。実施例 3 のビーム変換素子 1 1 は、第 1 のホログラム素子 1 2 と第 2 のホログラム素子 1 3 で構成される。入射光はアレイ光 1 4 であり、例えば、レーザアレイ光源からのレーザ光である。図 3 では 2 つのビームのみ表示しているが、アレイ数はいくつであっても構わない。第 1 のホログラム素子 1 2 は入射光であるアレイ光 1 4 のアレイ数に対応する領域のホログラムが施されている。図 3 では 2 つのビームに合わせて、第 1 のホログラム素子 1 2 には 2 つの領域にホログラムを施している。同様に、第 2 のホログラム素子 1 3 も入射ビームのアレイ光 1 4 に合わせた領域にホログラムが施されている。各領域のホログラムの構成は、実施例 1 に記載されるホログラムと同じであるので説明を省略する。実施例 3 の構成によって、各々がガウシアンビームであるアレイ光 1 4 をそれぞれビーム変換し、強度均一化されたアレイ光 1 5 が得られる。

【0050】(実施例 4) 図 4 は、実施例 4 のビーム変換素子を示す図である。実施例 4 のビーム変換素子 1 6 は、第 1 のホログラム素子 1 7 と第 2 のホログラム素子 1 8 で構成される。入射光 1 9 はアレイ光であり、例えばレーザアレイ光源からのレーザ光である。図 4 では 2 つのビームのみ表示しているが、アレイ数はいくつであっても構わない。第 1 のホログラム素子 1 7 は入射光であるアレイ光 1 9 のアレイ数に対応した領域数のホログラムが施されている。図 4 では 2 つのビームにあわせて、第 1 のホログラム素子 1 7 には 2 つの領域にホログラムが施される。同様に、第 2 のホログラム素子 1 8 も入射ビーム数に合わせたホログラムが施されている。各領域のホログラムの構成は実施例 2 のビーム変換素子に用いられるホログラムと同じ構成であるので説明を省略する。

【0051】実施例 4 のビーム変換素子によって、各々がガウシアンビームであるアレイ光 1 9 をそれぞれ強度均一化されたビーム変換し、強度均一化されたアレイ光 2 0 が得られる。また、実施例 4 に使われる第 1、第 2 のホログラム素子 1 7、1 8 は計算機ホログラム以外にも二光束干渉露光法で作製することも可能である。二光束干渉露光法でホログラムを作製するには、図 1 2 に示すように、レーザ光 7 5 をハーフミラー 6 9 (またはビームスプリッタ) で 2 分する。一方のビームは必要ならミラー 7 0 で反射させ、ホログラム記録材料の基板 7 4 に照射される。もう一方のビームは必要ならミラー 7 1 で反射させ、レンズ 7 2 で集光させホログラム記録材料

の基板 7 4 に照射する。ホログラム記録材料の基板 7 4 の直前にはマスク 7 3 を配置させ、必要な領域だけを露光させるようにする。その領域に適した焦点距離となるようにレンズ 7 2 を適宜交換することによって、ホログラム素子の焦点距離を変えることができる。さらに、レンズ 7 2 の焦点位置をホログラム記録材料の基板 7 4 の手前に (図 1 2 に示す配置) するとホログラム素子は凹レンズ機能を有し、焦点位置が記録材料 7 4 の先にあれば凸レンズ機能をもたせることになる。

【0052】(実施例 5) 図 5 は、実施例 5 のビーム変換素子を示す図である。実施例 5 のビーム変換素子 2 1 は、第 1 のホログラム素子 2 2 a、2 2 b、…と第 2 のホログラム素子 2 3 a、2 3 b、…で構成される。図 5 に示したビーム変換素子 2 1 は 2 セットのホログラム素子であるが、入射されるアレイ光 2 4 の数に合わせる。入射されるアレイ光 2 4 は、まず第 1 のホログラム素子 2 2 a、2 2 b で回折される。各々の第 1 ホログラム素子 2 2 a、2 2 b は凹レンズ機能を有し、各素子の中心に近づくほど焦点距離が大きい凹レンズ機能を有する。第 2 のホログラム素子 2 3 a、2 3 b は凸レンズ機能を有し、各ホログラム素子の中心ほど焦点距離が短い凸レンズ機能を有する。

【0053】実施例 5 のビーム変換素子 2 1 の構成によって、強度分布がガウシアン分布のアレイ光 2 4 は、2 枚のホログラム素子 2 2 a、2 2 b で回折させた結果、光強度が均一化される。この動作が全てのアレイ光 2 4 で動作されるので、結果的にレーザアレイ光 2 4 を全て均一ビームのアレイ光 2 5 に変換させることができる。また、斜入射系のホログラムであるため、二光束干渉露光法でも、計算機ホログラムでも作製が可能である。さらに、ホログラム素子をアレイ状に配置させるため、ビーム変換素子部 2 1 の入射光軸方向の長さを小さくまとめることができる。

【0054】(実施例 6) 図 6 は、本発明の実施例 6 の照明光学系を示す図である。実施例 6 の照明光学系 2 6 は、レーザアレイ光源 2 7 と、コリメートレンズアレイ 2 8 と、ビーム変換素子部 2 9 と、レンズアレイ 3 0 と、コンデンサレンズ 3 1 で構成され、被照射部 3 2 を照射する。コリメートレンズアレイ 2 8 は、必ず備えなければならないものではなく、ビーム変換素子部 2 9 のホログラム素子の設計と配置によって、コリメートレンズアレイ 2 8 を省略することができる。具体的には、第 1 のホログラム素子に入射する光を発散光で設計し、さらに、レーザアレイ光源 2 7 の各アレイからの発散光が重ならないうちに第 1 のホログラム素子に入射するように配置させればよい。また、コンデンサレンズ 3 1 は必ずしも必要ではなく、レンズアレイ 3 0 にコンデンサレンズ 3 1 の機能を持たせることも可能である。

【0055】ビーム変換素子部 2 9 には、実施例 3 ~ 5 のビーム変換素子 1 1、1 6、2 1 を用いることができ

る。実施例 6 の照明光学系 26 によって、レンズアレイ 30 に入射される各ビームは照度が均一化されている。レンズアレイ 30 とコンデンサレンズ 31 によって各ビームを被照射部 32 に照射している。均一化されている各ビームを被照射部 32 で重ね合わせるため、被照射部 32 でも均一な照度分布が得られる。さらに、レーザアレイ光源 27 の各ビームは被照射部 32 全体を各々照明するため、レーザアレイ光源 27 の各アレイ間で光強度のばらつきがあったとしても、被照射部 32 で均一な照明となる。

【0056】(実施例 7) 図 7 は、本発明の実施例 7 の照明光学系を示す図である。実施例 7 の照明光学系 33 は、光源 34 と、コリメートレンズ機能を有するホログラム素子 35 と、ビーム変換素子部 36 と、レンズアレイ 37、コンデンサレンズ 38 で構成され、被照射部 39 を照射する。光源 34 は一本のレーザでもレーザアレイ光源でも良い。レーザアレイ光源の場合にはホログラム素子 35 やビーム変換素子部 36 はアレイ状にホログラムが形成される。

【0057】光源 34 からの各ビームは、ホログラム素子 35 で各々平行光束化される。この段階では平行光束化されただけで、それぞれのビームにはガウシアン強度分布であり、このビームがビーム変換素子部 36 に入射する。光源 34 が一本のレーザであるならビーム変換素子部 36 は、実施例 1 または 2 のビーム変換素子 1、6 を使用し、レーザアレイ光源なら実施例 3～5 のビーム変換素子 11、16、21 を用いる。ビーム変換素子の機能によって各々のビームは均一照度分布のビームに変換される。レンズアレイ 37 とコンデンサレンズ 38 によって、それぞれの均一ビームを被照射部 39 に重ね合わせる。したがって、被照射部 39 でも均一な照度が得られる。ホログラム素子 35 の機能は、ビーム変換素子部 36 に持たせることも可能である。実施例 7 の照明光学系 33 によって、レーザ光源もしくはレーザアレイ光源を被照射部 39 に均一照明することができる。さらに、ホログラム素子 35 はビーム変換素子部 36 のホログラムに集約することも可能であるため、さらに小型の照明光学系を実現することができる。

【0058】(実施例 8) 図 8 は、本発明の実施例 8 の照明光学系を示す図である。実施例 8 の照明光学系 40 は、光源 41 と、コリメートレンズ機能を有するホログラム素子 42 と、ビーム変換素子部 43 と、各光束を合成するホログラム素子 44 で構成され、被照射部 45 を照射する。光源 41 は一本のレーザでもレーザアレイ光源でもよい。レーザアレイ光源の場合にはホログラム素子 42、44 やビーム変換素子部 43 はアレイ状にホログラムが形成される。光源 41 からの各ビームはホログラム素子 42 で各々平行光束化される。この段階では平行光束化されただけで、それぞれのビームにはガウシアンの強度分布である。このビームがビーム変換素子部 4

3 に入射する。光源 41 が一本のレーザならビーム変換素子は実施例 1 または 2 のビーム変換素子 1、6 を使用し、レーザアレイ光源なら実施例 3～6 記載のビーム変換素子 11、16、21 を用いることができる。ビーム変換素子の機能によって各々のビームは均一照度分布のビームになる。ホログラム素子 44 は、これ一枚で図 7 に示すレンズアレイ 37 とコンデンサレンズ 38 の組み合わせた機能を有する。

【0059】実施例 8 の照明光学系 40 によって、レーザ光源もしくはレーザアレイ光源を被照射部 45 に均一照明することができる。さらに、ホログラム素子 42、44 はどちらか一方、または両方をビーム変換素子部 43 のホログラムに集約することも可能であるため、さらに小型の照明光学系を実現することができる。

【0060】(実施例 9) 図 9 は、本発明の実施例 9 の照明光学系を示す図で、図 9 (A) は正面図、図 9

(B) は平面図である。実施例 9 の照明光学系 46 は、レーザアレイ光源 47 と、レンズアレイ 48 と、シリンドリカルレンズ 49 と、ビーム変換素子部 50 と、レンズアレイ 51、シリンドリカルレンズ 52、53 で構成され、被照射部 54 を照射する。レーザアレイ光源 47 は、レーザ発振部がライン状に配列されている。レンズアレイ 48 はコリメートレンズアレイで示されているが、レーザアレイ厚さ方向にはレンズパワーを持たないシリンドリカルレンズアレイでもよい。ビーム変換素子部 50 は、レーザアレイの厚さ方向のガウシアン分布特性を均一なビームに変換する機能を有する。レンズアレイ 51 とシリンドリカルレンズ 52 はレーザアレイ光源 47 のアレイ方向成分のホモジナイザである。すなわち、レーザアレイ 47 のアレイ方向に (図 9 (A) の紙面内方向に) 平行光束化されたアレイ光をシリンドリカルレンズアレイ 48 の分割数だけ分割し、シリンドリカルレンズ 52 で各々を被照射部 54 で重ね合わせる。シリンドリカルレンズ 53 はレーザアレイ 47 のアレイ厚さ方向のビームを被照射部 54 に合わせるためのレンズである。図 9 (B) で、ビーム変換素子部 50 からのビームが既に被照射部 54 の形状に合っているなら、シリンドリカルレンズ 53 は必要ではない。また、シリンドリカルレンズ 49 も特に必要ではない。シリンドリカルレンズ 49 のない場合には、入射光が発散光であることを考慮したビーム変換素子部 50 を設計すればよい。

【0061】レンズアレイ 48 はレーザアレイ光源 47 のアレイ数に一致する。レンズアレイ 51 はレーザアレイ数よりも好ましくは少なくし、かつレーザアレイ数の約数ではない分割数を選ぶ。被照射部 54 でレンズアレイ 51 の各アレイでのビーム強度が重ね合わさることになるが、アレイ数の約数でないために、各ビーム強度分布の位相がずれて重ね合わさり、均一化される。実施例 9 の照明光学系 46 によって、ビーム変換素子部 50 のホログラム設計は光源のアレイ数に依存することなく設

計することができる。また、ホモジナイザ部は光源のレイ数ほどの分割数になくても均一照明が可能である。したがって設計、作製がさらに容易になる。

【0062】(実施例10) 図10は、本発明の実施例10の投射装置を示す図である。実施例10の投射装置55は、レーザ光源56r、56g、56bと、照明光学系57r、57g、57bと、ライトバルブ58r、58g、58bと、色合成素子59と投射レンズ60で構成される。レーザ光源56r、56g、56bが各々1本のレーザ光の場合には、照明光学系57r、57g、57bは、実施例1または2のビーム変換素子1、6を用いることができる。また、レーザ光源56r、56g、56bがアレイである場合、照明光学系57r、57g、57bには実施例3～5のビーム変換素子11、16、21が用いられる。ライトバルブ58r、58g、58bには、例えば液晶ライトバルブを用いることができる。投射レンズの瞳に効率よく光を導くために、各ライトバルブ58r、58g、58bの直前にフィールドレンズを配置してもよい。実施例10の投射装置55によって、ライトバルブ58r、58g、58b上で均一照度が得られ、投射レンズ60によってスクリーン(図示せず)上で照度均一化を図ることができる。

【0063】(実施例11) 図11は、本発明の実施例11の投射装置を示す図である。実施例11の投射装置61は、レーザアレイ光源62r、62g、62bを3枚ならべ、かつ単板のライトバルブ67を用いた例である。レーザアレイ光源62r、62g、62bの直後にはコリメートレンズもしくはコリメートレンズ機能を有*

$$P=A+Bx+C\sin(Dx)$$

ただし、A、C、Dは0以外の定数、Bは0を含む定数。例えば、入射光が円形のガウシアンビームであるとき、Aは入射光軸が通過する場所の格子ピッチを表す。Bは図13において、ビームの両端の格子ピッチの差とホログラム領域の長さの比に関係する値である。Cは正弦波関数の重み付けで、Dはホログラム領域の中心から端までを半周期とするパラメータである。

【0066】定数A、B、C、Dの範囲は次の通りである。Aは入射光の波長によって異なるが、概ね、 $0 < A < 20 (\mu\text{m})$ である。B、C、Dはホログラム素子のホログラム面の大きさや被照射部との相対位置によって異なるが、概ね、 $-2 < B < 2 (\mu\text{m})$ 、 $-1 < C < 1 (\mu\text{m})$ 、 $-0.3 < D < 0.3 (\text{rad}/\mu\text{m})$ である。

【0067】図14は、定数A、B、C、Dの具体例として

$$\begin{aligned} A &= 0.5 (\mu\text{m}), \\ B &= 6.84 \times 10^{-5} (\mu\text{m}), \\ C &= -7.1 \times 10^{-3} (\mu\text{m}), \\ D &= 1.37 \times 10^{-2} (\text{rad}/\mu\text{m}) \end{aligned}$$

としたときの、ホログラム素子の中心からの距離と格子

*するホログラム素子63r、63g、63bが配置され、これらはビーム変換素子部64r、64g、64b、光束合成部65r、65g、65b、(必要なら)フィールドレンズ66、ライトバルブ67、投射レンズ68で構成される。ビーム変換素子部64r、64g、64bには実施例3～5のビーム変換素子11、16、21が使われる。光束合成部65r、65g、65bは、レンズアレイとコンデンサレンズで構成してもよいし、またホログラム素子で構成してもよい。実施例11の投射装置61の構成によれば、レーザ光源を使用した小型の投射装置を実現することができる。

【0064】(実施例12) 図13は、実施例12のビーム変換素子を示す図である。実施例12のビーム変換素子81は、ホログラム素子82と被照射部83からなり、ホログラム素子82に強度分布が不均一なビーム86が入射される。入射光はレーザ光が最も均一化しやすいが、もとのビームより均一化されれば良い程度ならレーザ光以外のビームでも良い。例えば発光ダイオードやインコヒーレントの単色光でも良い。ただし、ビームの中心に向かって光線強度が高くなるガウシアンビームもしくはガウシアンに近いビームプロファイルを有する入射光である必要がある。ホログラム素子82の設計は次のように行う。

【0065】入射光軸84と回折光軸85を含む面(図13の紙面に平行で入射光の中心を通る平面)でホログラム素子82を切った断面の格子ピッチが(式1)を満たすようにする。

(式1)

ピッチの関係を示す図であり、図15は図13のビーム変換素子を用いてガウシアン分布の入射光プロファイルが均一なビームプロファイルに変換される様子を示す図である。図15に示すように、図13面内において、入射角30度の入射ビーム(ガウシアン分布)が光線強度の均一化されたビームに変換される。この設計を図13の紙面に非平行な方向にも行うことで被照射部83では円形で光線強度が均一になる。

【0068】ホログラムの作製は、例えば電子ビーム描画機などを使い、いわゆる計算機ホログラムを作製するときに、(式1)を用いて格子ピッチを数値指定することができる。このため、ホログラムの作製も容易になる。この加工法によって表面レリーフを量産するための金型の原型、もしくは、体積ホログラム量産用のマスターホログラムを作ることが可能である。このため本発明によって低コストのビーム変換素子を実現できる。

【0069】(実施例13) 図16は、実施例13のビーム変換素子を示す図であり、図17は、第2のホログラム素子の中心からの距離と格子ピッチの関係を示す図である。実施例13のビーム変換素子88は、第1のホログラム素子89と第2のホログラム素子90で構成さ

れる。第1のホログラム素子89は(式1)で表される変調ピッチが形成される。第1のホログラム素子89で回折された光95は、実施例12の説明の通り、ガウシアンプロファイルの入射光94の中央付近は第2のホログラム素子90上で広がり、入射光の周辺からの光ほど第2のホログラム素子90上で圧縮される。第2のホログラム素子90の格子ピッチは、例えば図17で表される。この例は、第1のホログラム素子89として図16に示された格子を用いたときに、第2のホログラム素子90からの出射光96の回折角が15度でコリメート光として出射される場合である。図16の例では第1のホログラム素子89は入射光92に対し傾いているが、垂直に配置しても変調ピッチは設計可能である。

【0070】二枚のホログラム素子を用いてガウシアンビームをコリメート光として均一強度にできるため、被照射部91と第2のホログラム素子90との距離が変わっても均一性は保持される。このため、ビーム変換素子88と被照射部91の距離を任意に設定でき設置の自由度が高い。

【0071】(実施例14)図18は、実施例14のビーム変換素子97を示す図であり、図19は、第2のホログラム素子の中心からの距離と格子ピッチの関係を示す図である。図18に示すように、実施例14のビーム変換素子97は、第1のホログラム98素子と第2のホログラム素子99で構成され、入射光103と出射光105の光軸101、102が平行となるようにホログラムを設計する。すなわち、例えば第1のホログラム素子98が図14に示される格子ピッチであるとき、第2のホログラム素子99は図19に示す変調ピッチにすれば良い。図19は第2のホログラム素子99が入射光103に対して垂直に配置された場合の格子ピッチである。第1のホログラム素子98の格子ピッチの設計値から第2のホログラム素子99への各光線の入射角は決まるため、第2のホログラム素子99からの回折光105が入射光103と平行となるように回折角度が決められるので第2のホログラム素子99の格子ピッチが求められる。

【0072】2枚のホログラム素子を用いてガウシアンビームをコリメート光として均一放射照度にするため、被照射部100と第2ホログラム素子99との距離が変化しても放射照度の均一性は保持される。このため、被照射部100までの距離を自由に選ぶことができる。これに加えて、入射光軸101と出射光軸102が平行になるため、本発明のビーム変換素子を光学系の一部に利用する場合にその他の光学系を設計しやすくなる。図18では第1のホログラム素子98と第2のホログラム素子99が非平行であるが、平行であっても両ホログラム素子の格子ピッチは設計可能である。両ホログラム素子が平行な配置であれば第1のホログラム素子98からの回折光が第2のホログラム素子99に入力され

る場所では第1のホログラム素子98の格子ピッチと同じになる。

【0073】(実施例15)図20は、実施例15のビーム変換素子を示す図である。実施例15のビーム変換素子111は、ホログラム素子112と被照射部113があり、(式1)で表される変調ピッチのホログラム素子112からの回折光115によって被照射部113が均一照明される。ホログラム素子112の変調ピッチの設計は実施例12に説明された通りである。ホログラム素子112の端部から被照射部113の端までの入射光軸に沿った距離Lを(式2)に示される様に配置する。

$$L \geq W / \tan(\theta + \phi) \quad (式2)$$

ここで、Wは入射ビームの直径もしくは入射面内のビームの幅を表し、 θ はホログラム素子112への入射角、 ϕ はホログラム素子の平均的な回折角である。

【0074】本構成によってホログラム素子112で回折せず透過した光116は被照射部113を外れる。従って、被照射部113でのビームの均一性が良好になる。図示しないが、被照射部113がホログラム素子112と平行であっても良く、さらにはホログラム素子112と被照射部113がともに入射光軸に垂直に配置されていても式2の関係を保った距離Lを設定すれば、被照射部113から不要光であるホログラム透過光116を外すことができる。図示しないが、後述の実施例17、18においてホログラム素子をアレイ状に配列させたビーム変換デバイスの場合でも(式2)を満たすようにホログラム素子から被照射部までの距離を設定することによって不要な透過光を被照射部から外すことが可能である。

【0075】(実施例16)図21は、実施例16のビーム変換素子を示す図である。実施例16のビーム変換素子は、第1のホログラム素子118と第2のホログラム素子119で構成される。第1のホログラム素子118はその格子が(式1)で表される変調ピッチを有し、入射光121は第2ホログラム素子119によってさらに回折され、入射光軸と平行となり、かつコリメート光123で出力される。図21のように第1のホログラム素子118と第2のホログラム素子119の入射光軸に沿った距離L1を(式3)で示される距離とし、

$$L1 \geq W / \tan(\theta + \phi) \quad (式3)$$

さらに、第2ホログラム素子119から被照射部120までの入射光軸に沿った距離L2を(式4)で示される距離に設定する。

$$L2 \geq W / \tan(\theta + \phi) \quad (式4)$$

【0076】本構成によれば、第1のホログラム素子118から回折されずに透過する光124が被照射部120から外れ、さらには第1ホログラム素子118で回折されて第2ホログラム素子119で回折されずに透過する光125が被照射部120から外れる。このため、第1のホログラム素子118と第2のホログラム素子11

9で共に回折された光123のみが被照射部120に到達する。このためフレア光の無い設計通りの均一性の高いコリメート光が得られる。L1、L2がそれぞれ(式3)、(式4)を満たす最小の距離を選ぶことによって小型のビーム変換素子が得られる。

【0077】(実施例17)図22は、実施例17のビーム変換素子を示す図である。実施例17のビーム変換素子131は、ホログラム素子132によってレーザアレイ光134を被照射部133に均一照明する。図22ではガウシアンビームが2本で構成されるのでホログラム素子132には同じ格子パターンが2つあることになる。レーザアレイの数や配列方向に合わせて格子パターンを作製すればアレイ数は任意である。なお、格子パターンが同じパターンがアレイ状に配列されるには、ホログラムの基板132と被照射部133が平行である必要がある。図示しないが、ホログラム基板132と被照射部133が非平行の場合には格子パターンはアレイごとに異なる。

【0078】図23は、実施例17のビーム変換素子の異なる構成を示す図である。ビーム変換素子136は、第1のホログラム素子137と第2のホログラム素子138で構成される。第1のホログラム素子137に施されるアレイ状の格子パターンは各々(式1)で表される変調ピッチを有する。第2のホログラム素子138は第1のホログラム素子と平行にしている。このため、両ホログラム素子ともに格子パターンは全て同じパターンをアレイ状に配列させれば良い。また、図23では第2ホログラム素子138と被照射部139は非平行であるが、平行であっても第2ホログラム素子138を設計することは可能である。本発明によってアレイ光ごとにガウシアンビームのレーザアレイ光を被照射部139で均一な放射照度にする事ができる。

【0079】(実施例18)図24は、実施例18のビーム変換素子を示す図である。実施例18のビーム変換素子142は、ホログラム素子143a、143bがアレイ状に配列される。ガウシアンビームの特性を持つレーザアレイ光145に合わせてホログラム素子アレイ143a、143bを配置する。図23のように入射ビームに対してホログラム素子を傾ける場合にはアレイ数が多くなるとホログラム素子(図23の137、138)が光軸方向に長くなる。本構成のようにホログラム素子を配列させれば光軸方向の厚さをコンパクトにする事ができる。

【0080】(実施例19)図25は、実施例19のビーム変換素子を示す図である。実施例19のビーム変換素子147は、第1のホログラム素子148aと第2のホログラム素子149a、同様に148bと149b、148cと149cがそれぞれ1組のビーム変換素子を構成する。これらがアレイ状に配列されている。ビーム変換素子によって入射アレイ光の1本のビーム152a

のガウシアン分布が均一な放射照度に変換される。隣接する出射ビーム153a、153b、153cの間には遮蔽板151a、151bが配置される。第1のホログラム素子148aの回折光のうち第2のホログラム素子149aで回折されずに透過した光(図25で点線で示した光)は遮蔽板151aによって被照射部150に届かない。この遮蔽板151a、151bがアレイ状に配置されるため、被照射部150では均一な放射照度分布が得られる。さらに、これら遮蔽板151a、151bを置くことによって第2のホログラム素子149aから被照射部150までの入射光軸に沿った距離Lは、第1のホログラム素子148aへの入射角を θ 、1本の入射ビームの直径もしくは幅をW、第1のホログラム素子148aの平均的な回折角を ϕ とすると(式2)を満たせば良い。仮に、遮蔽板が配置されず、入射ビームの本数がmとすれば、第2のホログラム素子149aからの不要光を被照射部150から外すには、

$$L \geq mW / \tan(\theta + \phi)$$

にする必要がある。したがって本発明によってm分の1に被照射部との距離を短くすることができる。なお、図25では入射光のビームは3本であるが、アレイ数は2以上ならいくつであっても本発明の効果が得られる。

【0081】図26は、実施例19のビーム変換素子の變形であって、ホログラム基板上に格子パターンをアレイ状に形成された2枚のホログラム素子154、155と遮蔽板157で構成される実施例を示している。この例でも、入射光の一つのビーム158aが第1のホログラム素子154と第2のホログラム素子155によって放射照度が均一化され(159a)被照射部156に向かうが、第2のホログラム素子155で透過した光(点線で示される光)は遮蔽板157でカットされ被照射部156には届かない。図26では入射光のビームが2本の例を示しているが、アレイ数は2以上ならいくつであっても本発明の効果が得られる。本発明によって、ガウシアンプロファイルを有するアレイ光を均一放射強度にすることができ、かつ、このデバイスと被照射部までの距離を短くすることができる。

【0082】(実施例20)図27は、実施例20の露光装置を示す図である。実施例20の露光装置160は、レーザ光源161、実施例12~19で説明したいずれかのビーム変換素子162、レチクル163、投影レンズ164、基板ステージ165等から構成されている。レーザ光源161からのガウシアン分布の強度がビーム変換素子162で均一放射照度となりレチクル163を照明する。レチクル163のパターンが基板ステージ165上に置かれたウエハに露光される。図示しないが、レーザ光源161とビーム変換素子162の間に、コリメートレンズを配置しても良い。また、レーザ光源によっては、ビームを拡大して平行光束化させる光学系を使っても良い。設計しやすいホログラム素子で構成さ

れた、放射照度均一性を高くした小型のビーム変換素子を用いた露光装置を提供できる。

【0083】（実施例 21）図 28 は、実施例 21 のレーザ加工機を示す図である。実施例 21 のレーザ加工機 170 は、レーザ光源 171、実施例 12～19 で説明したいずれかのビーム変換素子 172、レンズ 173、ワーク 174 等からなる。本発明のレーザ加工機 170 は、レーザ光源 171 からのレーザ光をビーム変換素子 172 で均一ビームに変換し、レンズ 173 でワーク 174 に集光される。集光スポットによってワーク 174 の表面加工や切断加工ができる。また、レンズ 173 を投影レンズに置きかえるか、もしくは被照射部が直接ワークとする配置では、ワークの広い範囲にわたって均一照明できるため、レーザアニールとしても利用できる。図示しないが、レーザ光源 171 とビーム変換素子 172 の間に、コリメートレンズを配置しても良い。また、レーザ光源 171 によっては、ビームを拡大して平行光束化させる光学系を使っても良い。設計しやすいホログラム素子を用いたり、放射照度均一性を高くした小型のビーム変換素子を用いたレーザ加工機を提供できる。

【0084】（実施例 22）図 29 は、実施例 22 の投射装置を示す図である。実施例 22 の投射装置 180 は、レーザ光源 181、実施例 12～19 で説明したいずれかのビーム変換素子 182、ライトバルブ 183、投射レンズ 184 等で構成される。レーザ光のガウシアン分布強度のビームがビーム変換素子 182 で均一強度のビームに変換され、ライトバルブ 183 で空間変調された画像を投射レンズ 184 でスクリーン（図では省略）に投影する。ライトバルブ 183 は例えば液晶素子を用いることができる。図示しないが、レーザ光源 181 とビーム変換デバイス 182 の間に、コリメートレンズを配置しても良い。また、レーザ光源 181 によっては、ビームを拡大して平行光束化させる光学系を使っても良い。設計しやすいホログラム素子を用いたり、放射照度均一性を高くした小型のビーム変換デバイスを用いた投射装置を提供できる。

【0085】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によれば特殊な断面形状のレンズを用いることなしに、強度分布に疎密があるビームを被照射部で均一強度分布に変換、または、均一強度分布のコリメート光に変換するビーム変換素子、照明光学系及び投射装置を提供することができる。

【0086】（1）請求項 1 の発明によれば、2 枚のホログラムを用いることによって、ガウシアン分布を持つレーザ光のビームをコリメート光で、均一な強度分布のビームに変換することができる。

【0087】（2）請求項 2 の発明によれば、斜入射系のホログラム素子を用いることによって、作製法の自由度が高くなるビーム変換素子が得られる。

【0088】（3）請求項 3 の発明によれば、2 枚のホログラム素子にアレイ状にビーム変換パターンを作製することによって、レーザアレイ光の各々のガウシアン分布を均一強度分布のビームに変換することができる。

【0089】（4）請求項 4 の発明によれば、レーザアレイ光をすべて均一強度分布のビームに変換させることができる光学系であるので、ホログラム作製の自由度が高く、ビーム変換部の厚さを小さくすることができる。

【0090】（5）請求項 5 の発明によれば、請求項 1～4 のいずれかのビーム変換素子を用いて照明光学系を形成したので、ガウシアン分布を有するレーザ光を被照射部に均一に照明することができる。また、レーザ光源としてレーザアレイ光源を用いた場合においても、各ビームは被照射部全体を各々照明するため、各アレイ間で光強度のばらつきがあったとしても被照射部で均一な照明とすることができる。

【0091】（6）請求項 6 の発明によれば、コリメート機能のホログラム素子はビーム変換素子部のホログラムに集約することも可能であるため、さらに小型の照明光学系を実現することができる。

【0092】（7）請求項 7 の発明によれば、コリメート機能及びビーム合成用のホログラム素子はどちらか一方、または両方をビーム変換素子部のホログラムに集約することも可能であるため、さらに小型の照明光学系を実現することができる。

【0093】（8）請求項 8 の発明によれば、ビーム変換素子部のホログラム設計は光源のアレイ数に依存することなく設計できる。また、ホモジナイザ部は光源のアレイ数ほどの分割数にしなくても均一に照明することができる。

【0094】（9）請求項 9 の発明によれば、レーザ光源を用いた小型の投射装置を実現することができる。

【0095】（10）請求項 10 の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンビームを均一化させる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで作製が容易なビーム変換素子を実現することができる。

【0096】（11）請求項 11 の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンビームを均一化させる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで作製が容易で、さらに変換された光がコリメートされているためビーム変換デバイスと被照射部の距離を任意に設定でき設置の自由度が高いビーム変換素子を実現することができる。

【0097】（12）請求項 12 の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンビームを均一化させる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで作製が容易で、さらに変換された光がコリメートされているためビーム変換素子と被照射部の距離を任意に設定でき設置の自由度が高く、かつ、入射光と

変換後の光軸が平行なので他の光学系に用いるとき利用しやすいビーム変換素子を実現することができる。

【0098】(13) 請求項13の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンビームを均一化させる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで作製が容易で、放射照度の均一化に寄与しない透過光を被照射部から外すことができ、放射照度均一化が良好なビーム変換素子を実現することができる。

【0099】(14) 請求項14の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンビームを均一化させる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで作製が容易で、放射照度の均一化に寄与しない透過光を被照射部から外すことができ、放射照度均一化が良好になり、変換後のビームをコリメート光として取り出せるのでビーム変換素子と被照射部の距離を任意に設定でき設置の自由度が高いビーム変換素子を実現することができる。

【0100】(15) 請求項15の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンプロファイルのアレイビームを放射照度均一化できる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで容易に作製できるビーム変換素子を実現することができる。

【0101】(16) 請求項16の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンプロファイルのアレイビームを放射照度均一化できる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで容易に作製でき、ビーム変換素子の光軸方向の厚さをコンパクトにできるビーム変換素子を実現することができる。

【0102】(17) 請求項17の発明によれば、ホログラム素子によってガウシアンプロファイルのアレイビームを放射照度均一化できる変調ピッチを簡単な式で表せるため設計しやすく、計算機ホログラムで容易に作製でき、遮蔽板によって隣接されたホログラム素子からの不要光を被照射部から除去できる小型のビーム変換素子を実現することができる。

【0103】(18) 請求項18の発明によれば、設計しやすいホログラム素子で構成され、放射照度均一性を高めた小型のビーム変換素子を用いた露光装置を実現することができる。

【0104】(19) 請求項19の発明によれば、設計しやすいホログラム素子で構成され、放射照度均一性を高めた小型のビーム変換素子を用いたレーザ加工機を実現することができる。

【0105】(20) 請求項20の発明によれば、設計しやすいホログラム素子で構成され、放射照度均一性を高めた小型のビーム変換素子を用いた投射装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例1のビーム変換素子を示す図である。

【図2】 本発明の実施例2のビーム変換素子を示す図である。

【図3】 本発明の実施例3のビーム変換素子を示す図である。

【図4】 本発明の実施例4のビーム変換素子を示す図である。

【図5】 本発明の実施例5のビーム変換素子を示す図である。

【図6】 本発明の実施例6の照明光学系を示す図である。

【図7】 本発明の実施例7の照明光学系を示す図である。

【図8】 本発明の実施例8の照明光学系を示す図である。

【図9】 本発明の実施例9の照明光学系を示す図である。

【図10】 本発明の実施例10の投射装置を示す図である。

【図11】 本発明の実施例11の投射装置を示す図である。

【図12】 斜入射系のホログラムを用いた二光束干渉露光法でホログラムを作製する装置を示す図である。

【図13】 本発明の実施例12のビーム変換素子を示す図である。

【図14】 図13のホログラム素子の中心からの距離と格子ピッチの関係を示す図である。

【図15】 図13のビーム変換素子を用いてガウシアン分布の入射光プロファイルが均一なビームプロファイルに変換される様子を示す図である。

【図16】 本発明の実施例13のビーム変換素子を示す図である。

【図17】 図16のビーム変換素子において、第2のホログラム素子の中心からの距離と格子ピッチの関係を示す図である。

【図18】 本発明の実施例14のビーム変換素子を示す図である。

【図19】 図18のビーム変換素子において、第2のホログラム素子の中心からの距離と格子ピッチの関係を示す図である。

【図20】 本発明の実施例15のビーム変換素子を示す図である。

【図21】 本発明の実施例16のビーム変換素子を示す図である。

【図22】 本発明の実施例17のビーム変換素子を示す図である。

【図23】 図22のビーム変換素子の異なる構成を示す図である。

【図24】 本発明の実施例18のビーム変換素子を示す図である。

【図25】 本発明の実施例19のビーム変換素子を示す図である。

す図である。

【図26】 図25のビーム変換素子の異なる構成を示す図である。

【図27】 本発明の実施例20の露光装置を示す図である。

【図28】 本発明の実施例21のレーザ加工機を示す図である。

【図29】 本発明の実施例21の投射装置を示す図である。

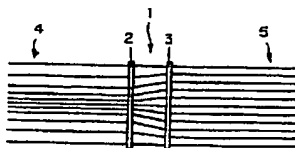
【図30】 強度分布に疎密があるビームを強度分布が均一なビームに変換する従来の特殊レンズを示す図である。

【符号の説明】

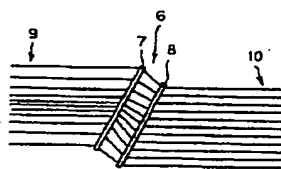
1, 6, 11, 16, 21…ビーム変換素子、2, 7, 12, 17…第1のホログラム素子、3, 8, 13, 18…第2のホログラム素子、4, 9…ガウシアン分布のレーザ光、5, 10…均一強度分布のレーザ光、14, 19, 24…ガウシアン分布のアレイ光、15, 20, 25…均一強度分布のアレイ光、26, 33, 40, 46…照明光学系、27, 47…レーザアレイ光源、28 20…ゴリメートレンズアレイ、29, 36, 43, 50…ビーム変換素子部、30, 37, 48, 51…レンズア

レイ、31, 38…コンデンサレンズ、32, 39, 45, 54…被照射部、34, 41…光源、35, 42, 44, 63…ホログラム素子、49, 52, 53…シリンドリカルレンズ、55, 61…投射装置、56…レーザ光源、57…照明光学系、58, 65, 67…ライトバルブ、59…色合成素子、60, 68…投射レンズ、62…レーザアレイ光源、64…ビーム変換素子部、65…光束合成部、66…フィールドレンズ、81, 88, 97, 111, 117, 131, 136, 142, 147…ビーム変換素子、82, 112, 132, 143…ホログラム素子、83, 91, 100, 113, 120, 133, 139, 144, 150, 156…被照射部、89, 98, 118, 137, 148, 154…第1のホログラム素子、90, 99, 119, 138, 149, 155…第2のホログラム素子、151, 157…遮蔽板、160…露光装置、161, 171, 181…レーザ光源、162, 172, 182…ビーム変換素子、163…レチクル、164…投影レンズ、165…基板ステージ、170…レーザ加工機、173…レンズ、174…ワーク、180…投射装置、183…ライトバルブ、184…投射レンズ。

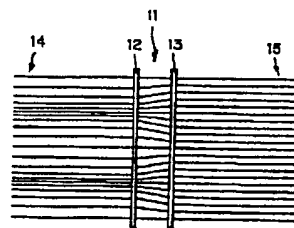
【図1】



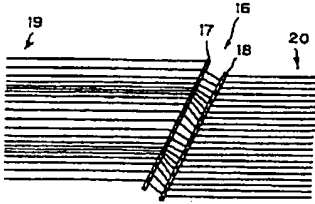
【図2】



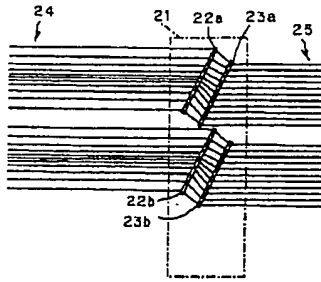
【図3】



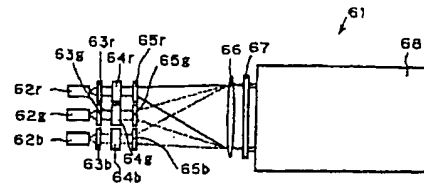
【図4】



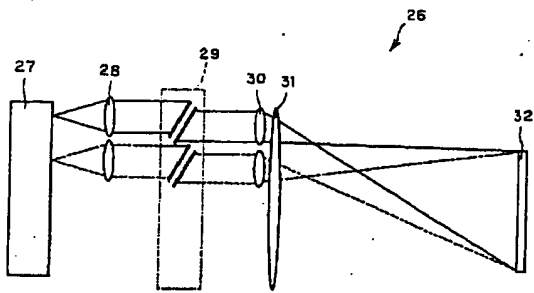
【図5】



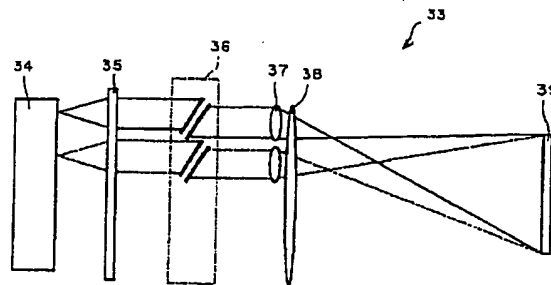
【図11】



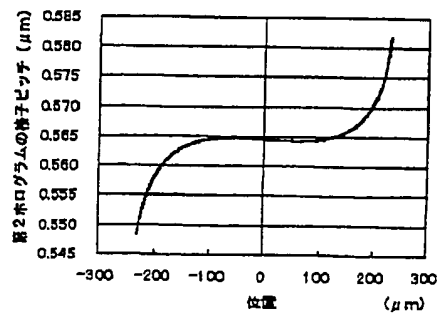
【図6】



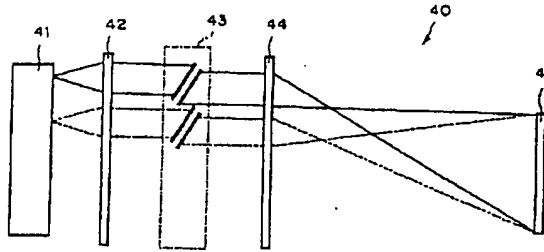
【図7】



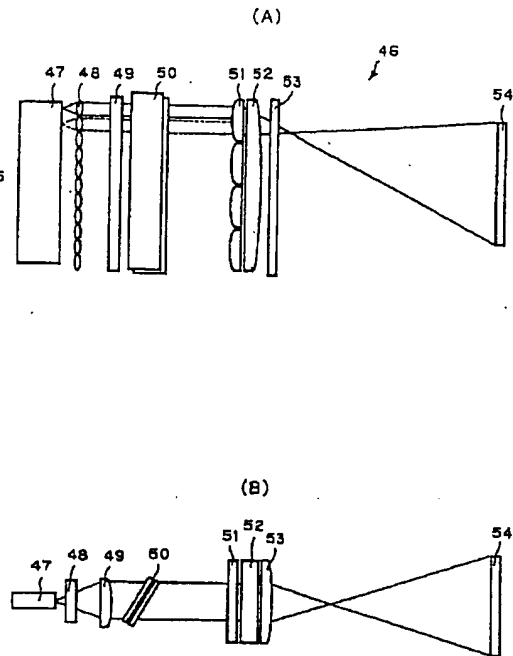
【図19】



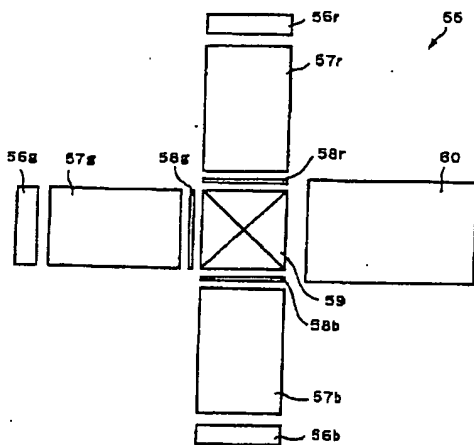
【図 8】



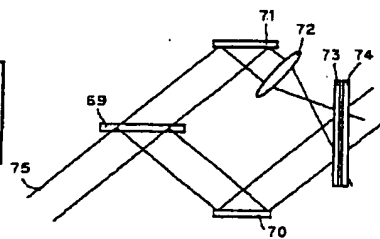
【図 9】



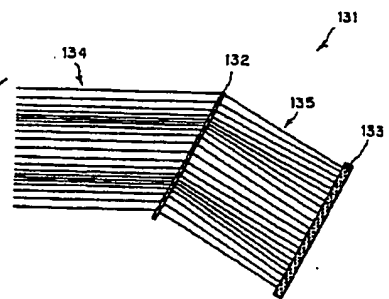
【図 10】



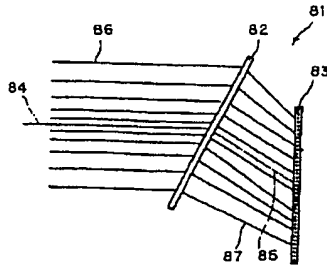
【図 12】



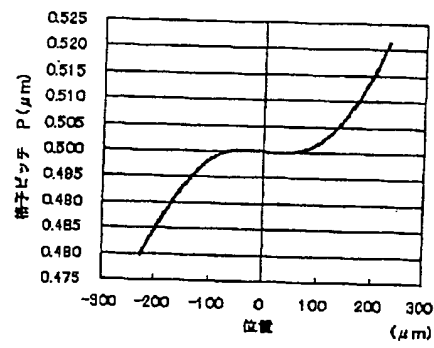
【図 22】



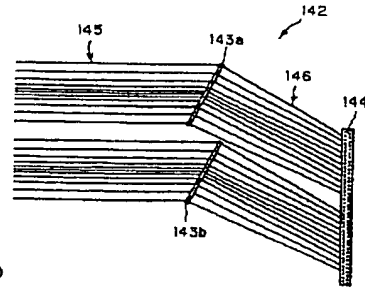
【図13】



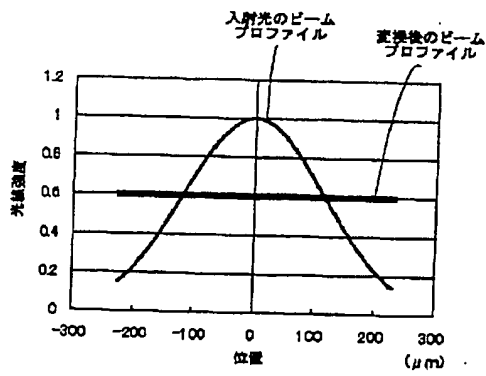
【図14】



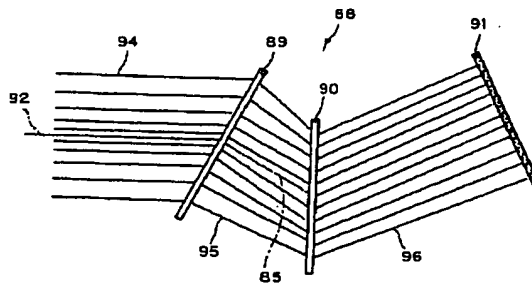
【図24】



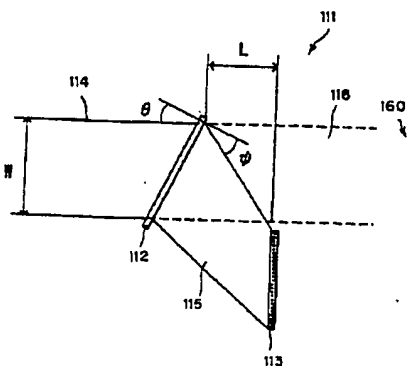
【図15】



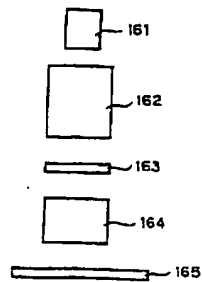
【図16】



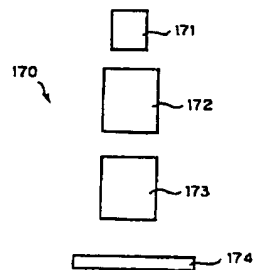
【図20】



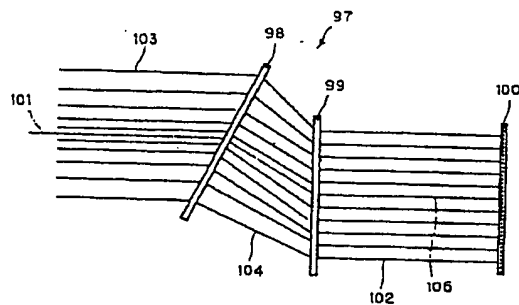
【図27】



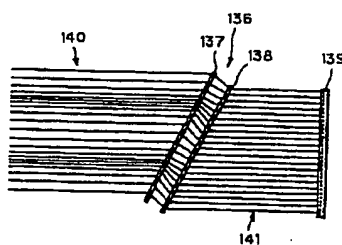
【図28】



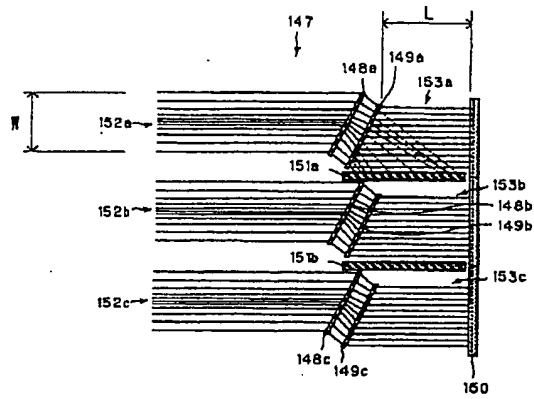
【图 18】



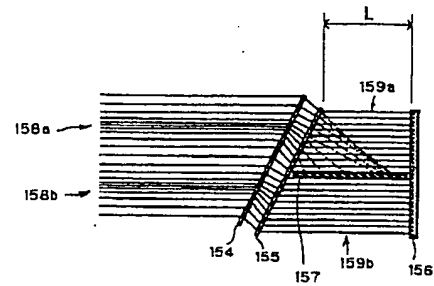
【图 23】



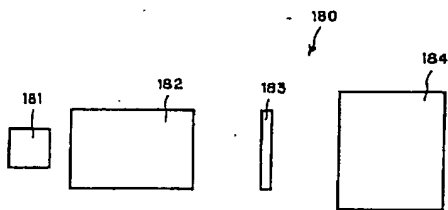
【図25】



【図26】



【図29】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7	識別記号	F I	テ-マ-ド (参考)
G 0 3 B 21/14		G 0 3 F 7/20	5 0 5 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 0 5	7/22	H
7/22		G 0 3 H 1/04	
G 0 3 H 1/04		H 0 1 L 21/30	5 2 7
H 0 1 L 21/027		G 0 2 B 27/00	E

(72)発明者	加藤 幾雄	Fターム(参考)	2H049 CA05 CA08 CA09 CA18 CA22
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式		CA28
	会社リコー内		2H052 BA02 BA09 BA12 BA14
(72)発明者	逢坂 敬信		2H097 AA03 AB09 BA10 CA17 EA01
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式		GB01 LA10
	会社リコー内		2K008 AA10 EE01 FF27 HH01
(72)発明者	滝口 康之		4E068 CD05 CD08 CD13
	東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式		5F046 BA03 CB01 CB12 CB23
	会社リコー内		